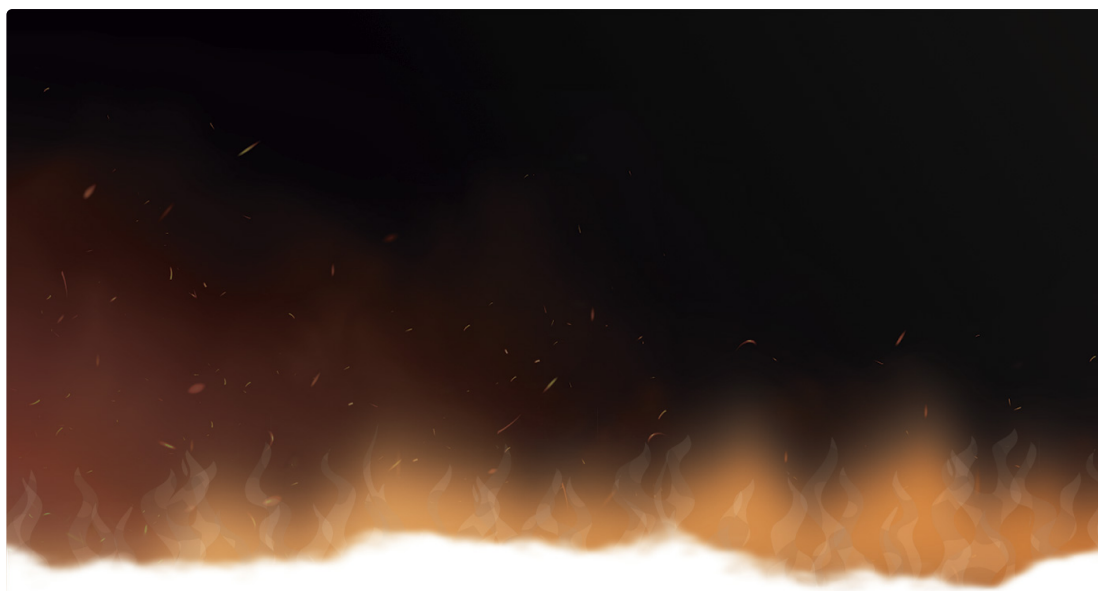




Introdução à física térmica

Prof. Bruno Suarez Pompeo

Descrição

Você entenderá o conceito de calor, as definições e aplicações das três leis da termodinâmica. Serão apresentados os efeitos físicos de dilatação e contração dos corpos devido à variação de temperatura. Também abordaremos as diferentes formas de propagação de calor conhecidas.

Propósito

Estudar a física térmica é essencial para entender o calor, suas limitações e aplicações. Isso inclui como o calor se propaga e os efeitos da variação de temperatura nos corpos. Esse conhecimento é importante para melhorar tecnologias e processos em diversas áreas.

Objetivos

Módulo 1

Conceitos de calor

Identificar os conceitos de calor.

Módulo 2

Leis da termodinâmica

Identificar as leis da termodinâmica.

Módulo 3

Efeitos da dilatação e contração

Reconhecer os efeitos da dilatação e contração em sólidos e líquidos.

Módulo 4

Propagação de calor

Distinguir as formas de propagação de calor.



Introdução

A construção de máquinas térmicas e o aperfeiçoamento de equipamentos que funcionavam com base nos efeitos causados pela variação de temperatura, tais como os termômetros, no século XVIII, mostraram que, nessa época, havia a necessidade de uma atenção maior sobre as propriedades do calor.

Nesse período, havia duas linhas de pensamento que dividiam a comunidade acadêmica: o modelo mecânico e o modelo calórico. O modelo mecânico defendia a ideia de que o calor seria uma forma de energia existente devido ao movimento das inúmeras partículas microscópicas que compõem qualquer matéria.

Se há movimento, há energia cinética e choques entre partículas, e entre elas e o recipiente que as compreende, o que dá origem à pressão. Essa teoria foi desenvolvida por Daniel Bernoulli e é aceita até os dias atuais.

Já o modelo calórico defendia a ideia de que o calor seria um tipo de matéria, com massa desprezível, cujas moléculas que a compõem seriam responsáveis por interagir com as de todas as outras substâncias e, assim, repassar sua energia.

Devido a experimentos realizados durante os séculos XVIII e XIX, em especial os experimentos do físico inglês James Prescott Joule, essa teoria passou a não ser mais aceita.

Os estudos acerca do calor intensificaram-se após a Revolução Industrial – com a criação das máquinas a vapor – e foram a base para as três leis da termodinâmica que vieram em seguida. A partir de então, no âmbito da engenharia, o uso do calor para realização de trabalho mecânico tornou-se fundamental, pois, em boa parte dos projetos, passou-se a utilizar maquinários e equipamentos que têm como base as leis da termodinâmica.

Neste conteúdo, estudaremos, primeiramente, os conceitos de calor e a teoria aceita atualmente (modelo mecânico). Em seguida, conheceremos as leis da termodinâmica, os efeitos de dilatação e contração dos corpos a partir da variação de temperatura e as formas de propagação de calor.

Material para download

Clique no botão abaixo para fazer o download do conteúdo completo em formato PDF.

[Download material](#)



1 - Conceitos de calor

Ao final deste módulo, você será capaz de identificar os conceitos de calor.

Calor X Temperatura

A primeira pergunta que faremos neste conteúdo é a seguinte: O que é calor?

Quando pensamos em calor, vem logo à mente um dia quente, não é mesmo? Isso tem uma razão. Popularmente, é comum ouvirmos frases como estas, confira!



Nossa, como hoje está calor!



Mas que calor!

No dicionário Aurélio (Ferreira, 2004), algumas das definições de calor são: “Sensação que se experimenta, em ambiente aquecido, ou junto de um objeto quente e/ou que se aquece”, “Qualidade ou estado de quente; quentura”.

Em **termos físicos**, o que é calor? Antes de discutirmos esse conceito e suas aplicações em máquinas, é importante definirmos outra noção intimamente relacionada à de calor: **temperatura**.



Temperatura

Você consegue explicar o que é temperatura, sem recorrer aos conceitos populares, também chamado de senso comum, de quente e frio? A partir da aceitação do modelo mecânico de calor, podemos definir temperatura como:

O grau de agitação das moléculas de determinado corpo.

Atenção!

É importante que você tenha em mente a definição correta para não cometer o erro de seguir o conceito de temperatura a partir de sensações táteis.

A movimentação das moléculas determina o estado térmico de um corpo. Em outras palavras, a temperatura de um corpo está relacionada à energia cinética média de suas moléculas.

Quanto maior a agitação das moléculas de um corpo, maior será a energia cinética

dessas moléculas, e por sua vez, maior será a temperatura deste corpo.

Escalas termométricas

Quando utilizamos um termômetro, estamos medindo um número em uma escala termométrica, em geral, aqui no Brasil, medimos a temperatura em Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Exemplos:

- A temperatura média do corpo humano é de $36,5^{\circ}\text{C}$.
- Em dias quentes de verão do Rio de Janeiro, a temperatura ultrapassa os 40°C .

Perceba que, através de uma escala termométrica, conseguimos quantificar a temperatura, em números que nos orientam, se algo está quente ou frio.

Existem três escalas termométricas universalmente conhecidas: Celsius, Fahrenheit e Kelvin. Vamos conhecê-las agora:



Anders Celsius.

Escala Celsius

Utilizada na maioria dos países, inclusive no Brasil, e definida a partir do valor 0° para a fusão do gelo e 100° para a ebulição da água, por Anders Celsius, em 1742.

Anders Celsius (1701-1744), astrônomo sueco, definiu a escala termométrica batizada com seu sobrenome. No campo da Astronomia, foi um dos criadores do Observatório Astronômico de Uppsala, sua cidade natal, em 1741.

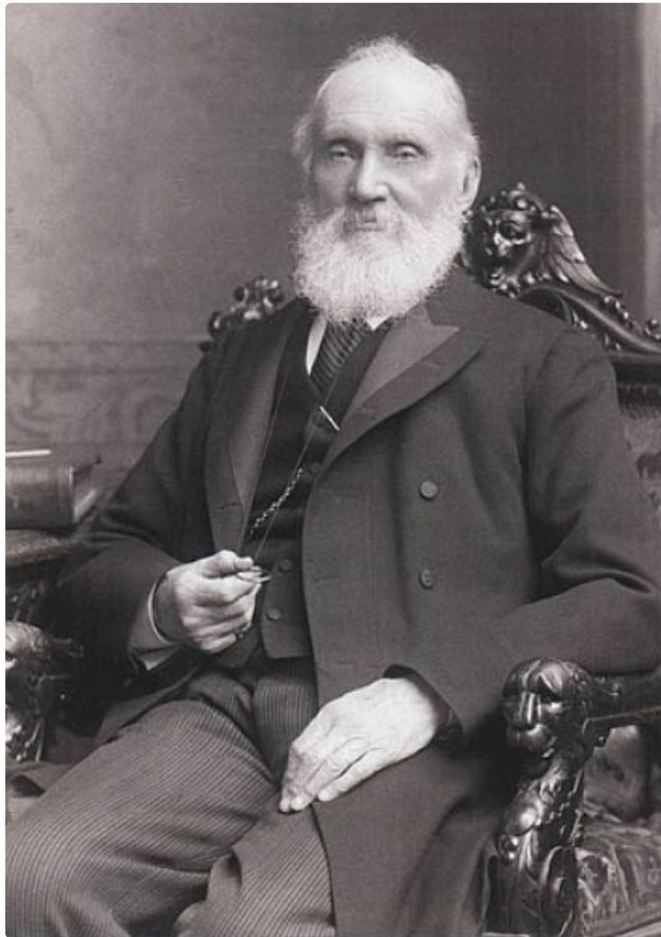


Daniel Fahrenheit.

Escala Fahrenheit

Utilizada em alguns países de língua inglesa, tais como EUA e Inglaterra, e definida a partir do valor 32° para a fusão do gelo e 212° para a ebulição da água, por Daniel Fahrenheit, em 1724.

Daniel Fahrenheit (1686-1736), físico e engenheiro alemão, definiu a escala termométrica batizada com seu sobrenome. Além disso, também foi responsável pela criação do termômetro de mercúrio.



William Thomson, Lorde Kelvin.

Escala Kelvin

Usada em cálculos científicos e conhecida como a escala absoluta de temperatura. A unidade Kelvin [K] é parte do Sistema Internacional de Medidas. Diferente de outras escalas, é baseada em cálculos científicos e não nos pontos de fusão e ebulição da água. Zero kelvin é a temperatura em que o movimento molecular cessa.

A escala foi definida por William Thomson (1824-1907), também conhecido como Lorde Kelvin, em reconhecimento às suas importantes contribuições para a matemática e a física.

Agora que sabemos o que é temperatura, podemos começar nosso estudo de calor e suas aplicações práticas. Vamos lá!

Calor

Diferentemente do que foi apresentado por algumas definições do dicionário Aurélio e por seu uso corrente no senso comum, em termos físicos, calor não é uma sensação, experimentação ou o estado de algo quente.

Calor é energia térmica em trânsito que flui entre corpos ou sistemas, desde que haja uma diferença de temperatura entre eles.

Certamente, você percebe a existência do calor em seu cotidiano.

Por exemplo, quando decide tomar banho e a água está muito fria, o que você faz? Abre a torneira da água quente, não é? Mas e se ficar muito quente? Simples: você diminui a vazão da água quente ou, então, abre mais a água fria.

O fato de misturar água em diferentes temperaturas a fim de chegar a uma temperatura agradável é uma prática comum que funciona devido ao calor que flui entre as águas.



Pessoa ajustando temperatura de chuveiro.

Outro exemplo comum é o fato de você sair na rua em um dia frio e “sentir” frio. A sensação de frio na pele existe porque seu corpo está cedendo calor para o ambiente.

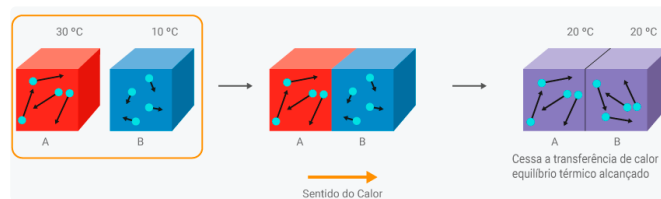
Atenção!

Calor é uma forma de energia que se transfere de maneira espontânea apenas quando há uma diferença de temperatura entre corpos. O “sentido” dessa transferência de energia é sempre do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.

Equilíbrio térmico: lei zero da termodinâmica

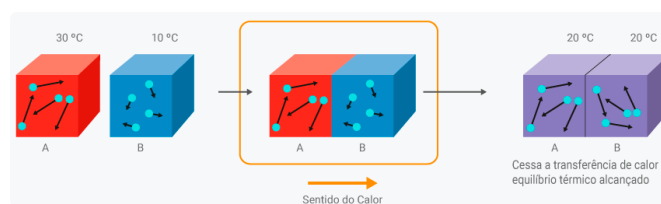
É definido como a condição final obtida após dois ou mais corpos trocarem calor entre si e, então, atingirem a mesma temperatura.

Quando isso acontece, cessa o calor (ou transferência de energia térmica) e dizemos que os corpos estão em **equilíbrio térmico**. A seguir, veremos mais sobre esse processo.



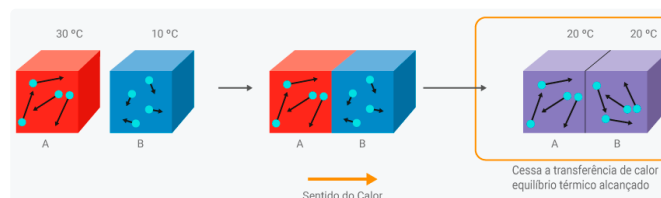
Primeira fase da transferência térmica.

No exemplo, A e B são dois corpos idênticos, porém com temperaturas diferentes. As moléculas de A possuem, em média, energias cinéticas maiores do que as moléculas em B.



Segunda fase da transferência térmica.

O calor é transferido entre os blocos, buscando um equilíbrio entre as temperaturas.



Terceira fase da transferência térmica.

Após o equilíbrio, tanto as moléculas de A quanto as de B possuirão, em média, velocidades e temperaturas iguais.

Na prática, essa lei nos afirma que, se tivermos um sistema com diversos corpos, com temperaturas diferentes, haverá fluxo de calor no sistema (alguns corpos cedendo e outros recebendo calor) até que o equilíbrio térmico seja alcançado.

Podemos dizer então que, quando há fluxo natural de calor, as temperaturas dos corpos são diferentes? Sim, isso é verdade. E o efeito do calor será sempre o de mudar a temperatura dos corpos? Bem, isso nem sempre é verdade!

Veremos a seguir que outro efeito possível do calor é mudar o estado de agregação de um corpo. Assim, para facilitar o entendimento, podemos dividir o calor em dois tipos. Veja!

Calor sensível

É responsável por mudar a temperatura dos corpos.

Calor latente

É responsável por mudar o estado de agregação dos corpos.

Podemos entender melhor o **estado de agregação** como estado definido pelas ligações intermoleculares em que determinado corpo se apresenta. Podemos citar três estados: sólido, líquido e gasoso. Cada um deles apresenta características particulares. Existe, também, um quarto estado, não muito comum, chamado de plasma.

É importante ressaltar que os dois tipos de calor não atuam em um mesmo corpo, ao mesmo tempo. Isso significa dizer que: quando um corpo tem mudança de temperatura, seu estado físico (estado de agregação), não se altera, e quando um corpo muda de estado físico (muda de estado de agregação), ele não tem sua temperatura alterada.

Tipos de calor, capacidade térmica e efeito Joule

Calor sensível

Chamamos de calor sensível aquele usado para variar a temperatura de um corpo sem alterar seu estado de agregação. Esse calor pode ser recebido ou cedido para outro corpo.

Exemplo

Se colocarmos uma panela com 1 litro de água e outra com 2 litros para aquecer no fogão, ambas à mesma temperatura inicial, qual precisará de mais calor para atingir uma temperatura final comum? Certamente, quanto mais água, mais calor será necessário. Com quais variáveis esse calor está relacionado? O calor necessário para que um corpo varie de temperatura é diretamente proporcional à quantidade de matéria.



Calor sensível

Neste vídeo, vamos entender o conceito de calor sensível através de um experimento usando 1 litro de água em uma panela e 1 litro de leite. Confira!

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



O calor para variar a temperatura de um corpo, chamado de calor sensível, depende da quantidade e do tipo de matéria que compõe o corpo, bem como de quanto é a variação de temperatura. De forma experimental, concluímos que o calor necessário é dado por:

$$Q = mc\Delta T$$

Sendo:

- $Q \rightarrow$ quantidade total de calor fornecido ou cedido em joules (J), ou calorias (cal).
- $m \rightarrow$ massa do corpo, em quilogramas (kg) ou em gramas (g).
- $c \rightarrow$ calor específico da substância que compõe o corpo em unidades de joules por quilograma kelvin $\left(\frac{J}{kg \cdot K}\right)$, ou calorias por grama celsius $\left(\frac{Cal}{g \cdot ^\circ C}\right)$.
- $\Delta T \rightarrow$ variação da temperatura, em graus kelvin (K), ou em graus Celsius ($^\circ C$).

Para compreender melhor, acompanhe este exemplo!

Precisamos aquecer uma chapa de ferro de $1,0 \text{ m}^2$, fazendo sua temperatura passar de 20°C para 120°C . Conseguimos calcular a quantidade de calor necessária para a realização dessa tarefa?

Sabendo a densidade superficial do ferro (necessário para encontrarmos a massa que tem nessa chapa) e o calor específico do ferro, conseguimos sim. Basta aplicarmos a equação do calor sensível.

Atenção!

A equação do calor sensível é usada somente quando não há mudança de estado de agregação de um corpo, ou seja, o calor é responsável apenas pela variação de temperatura.

Entenda agora, as diferenças entre temperatura positiva e temperatura negativa.

Temperatura negativa

Caso a variação de temperatura seja negativa, o valor de Q será negativo (m e c são sempre positivos). Isso indica que o corpo está cedendo calor para outro corpo ou sistema. Consequentemente, sua temperatura diminuirá.

×

Temperatura positiva

Se a variação de temperatura for positiva, o valor de Q será positivo. Isso indica que o corpo está recebendo calor de outro corpo ou sistema. Consequentemente, sua temperatura aumentará.



Calor latente

Chamamos de calor latente aquele usado para alterar as ligações intermoleculares de determinado corpo, fazendo com que seu estado de agregação seja modificado. Esse calor pode ser recebido ou cedido para outro corpo.

Em geral, para substâncias puras, enquanto seu estado de agregação está sendo mudado, sua temperatura se mantém constante. Assim, o calor latente só depende da quantidade e do tipo de matéria que compõe o corpo. Logo, pode ser dado por:

$$Q = mL$$

Sendo:

- Q = a quantidade de calor fornecido [J ou cal] → calor latente.
- m = massa da substância [kg ou g] → quantidade de matéria.
- L = calor latente de transformação [J/kg ou cal/g] → propriedade de cada material.

O **calor latente de transformação (L)** pode ser definido como: A quantidade de calor necessária para mudar de estado 1 g de determinada substância.

A partir do conhecimento dos calores sensíveis e latentes envolvidos em um sistema, podemos quantificar a lei zero da termodinâmica da seguinte forma: “A soma de todos os calores envolvidos em um sistema, positivos e negativos, é igual a zero.”

O módulo da soma de todos os calores cedidos por corpos em um sistema (sensíveis ou latentes) deverá ser igual ao módulo da soma de todos os calores recebidos por outros corpos dentro do mesmo sistema (sensíveis ou latentes).

O calor latente de transformação pode ser positivo ou negativo, a depender se o corpo está recebendo ou cedendo calor. Entenda!



Para transformar gelo em água líquida, o gelo precisa receber calor e, portanto, o calor latente de fusão é positivo.



Para transformar água líquida em gelo, a água líquida precisa ceder calor e, portanto, o calor latente de solidificação é negativo.

A regra geral é a seguinte: para levar o corpo ao sentido de maior liberdade das moléculas (sólido para líquido, líquido para gasoso), é preciso fornecer calor. Logo, L é positivo. No sentido contrário, é preciso ceder calor. Logo, L é negativo.

Quando colocamos água para ferver, normalmente ela está à temperatura ambiente no momento em que vai ao fogo. Pensando nisso, confira o exercício a seguir.

Complete as lacunas!

A água entra em ebulição (começa a ferver) a

ao nível do mar.

Isso dependerá da pressão atmosférica – quanto maior a pressão, maior será a temperatura de .

Tentar novamente

Verificar

O calor envolvido nessa operação (ebulição), primeiramente, é do tipo **calor sensível** – fazendo a água sair da temperatura ambiente e indo até 100°C.

Quando a água alcança essa temperatura, todo calor fornecido a partir desse ponto é usado para transformar água líquida em vapor de água. Nesse caso, o **calor latente** entra em ação até que toda água tenha virado vapor d'água. Se colocarmos um termômetro dentro d'água, veremos que ele indicará um aumento de temperatura até o ponto de ebulição. A partir desse ponto, a temperatura indicada pelo termômetro permanecerá constante até que toda a água vaporize.

Capacidade térmica

Um parâmetro bem útil no estudo de calor é a capacidade térmica, que nos fornece a quantidade necessária de calor para determinado corpo variar sua temperatura em 1°C. Utilizando a equação do calor sensível, podemos definir capacidade térmica (C) da seguinte forma:

$$Q = mc\Delta T = C\Delta T$$

$$C = mc$$

Em que a unidade de C é cal/°C ou J/K.

Note que a capacidade térmica é uma propriedade que depende da massa, e não somente da substância, como o calor específico.

Podemos afirmar que a capacidade térmica é a quantidade de energia necessária, para variar a temperatura de determinado corpo, em um grau.

Saiba mais

Leia o texto *Os experimentos de Joule e a primeira lei da termodinâmica*, bem como os outros artigos elencados no Explore+.

Efeito Joule e unidade de calor

O efeito Joule é um fenômeno físico em que um sistema transforma energia elétrica em energia térmica (calor). Existem diversos equipamentos que utilizam o efeito Joule em seu funcionamento. Confira alguns!



Ferro de passar roupas



Torradeira



Chuveiro elétrico

Nesses exemplos, o princípio básico é de uma corrente elétrica passando por uma resistência que tem sua temperatura aumentada devido à transformação de energia elétrica em térmica.

Com a temperatura aumentada, essa resistência transfere calor para os corpos que estão em temperaturas inferiores em contato com ela.

Como calor é energia em trânsito, sua unidade é a mesma de energia, independentemente de ser calor sensível ou latente. No SI, sua unidade é o Joule [J], em que:

$$1J = 1kg \cdot m^2/s^2$$

Uma unidade bem comum no estudo de calor é a caloria [cal]. Isso porque 1,0 cal (que equivale a 4,18J) é o calor necessário para variar em 1°C 1,0 grama de água, ou seja, o calor específico da água é 1,0 cal/g °C.

Comentário

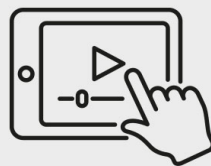
Nutricionistas costumam adotar a unidade Caloria (repare: C é maiúsculo), apesar de conceitualmente errado. 1 Caloria é diferente de 1 caloria nesse uso habitual. Na verdade, 1 Caloria equivale a 1.000 cal ou 1 kcal. Essa energia está relacionada com a liberada pela queima do alimento consumido, ou seja, combustível orgânico para o ser humano. Em termos de unidades relacionadas a grandezas físicas, a unidade Caloria, com C maiúsculo, não existe. Então, quando um nutricionista lhe passar uma dieta de 2.000 Calorias, significa que você poderá consumir alimentos que lhe garantam 2.000 kcal ou 8.360 KJ de energia.



Obtenção do equilíbrio térmico

Acompanhe neste vídeo um experimento que demonstra a troca de calor entre duas substâncias até que elas alcancem o equilíbrio térmico.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Pequenos vídeos, grandes explicações!

Temperatura

Assista ao vídeo para entender o que é temperatura. Vamos lá!

Calor

Assista ao vídeo para entender o que é calor e conferir como funcionam as trocas dessa energia térmica.

Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

Sobre a definição de calor e a lei zero da termodinâmica, são feitas as seguintes afirmativas:

- I. Calor é uma energia que pode ser armazenada em um recipiente e transformada em trabalho mecânico.
- II. Calor é uma energia em movimento e ocorre quando há diferença de temperatura entre corpos.
- III. O calor flui espontaneamente do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.
- IV. Enquanto houver diferença de temperaturas entre corpos em um

sistema, haverá transferência de calor até que o sistema atinja o equilíbrio térmico.

Podemos afirmar que

- A Somente a afirmativa I está correta
- B As afirmativas I e IV estão corretas
- C As afirmativas II, III e IV estão corretas
- D Somente a afirmativa III esta correta
- E As afirmativas I e III estão corretas

Parabéns! A alternativa C está correta.

Vamos analisar as afirmativas a seguir:

I. **Falso:** apesar do calor poder ser transformado em trabalho mecânico, trata-se de uma energia em trânsito, logo, por definição, não é possível armazená-la.

II. **Verdadeiro:** enquanto houver diferença de temperatura entre corpos, haverá trânsito de energia, ou seja, calor.

III. **Verdadeiro:** o corpo de maior temperatura transfere energia para o de menor temperatura, até que o equilíbrio térmico seja atingido.

IV. **Verdadeiro:** o corpo de maior temperatura transfere energia para o de menor temperatura, até que o equilíbrio térmico seja atingido.

Questão 2

Leia abaixo a asserção-razão que o esquimó observador, realizou sobre o bloco de gelo:



I. O bloco está derretendo no regime de calor latente.

PORQUE

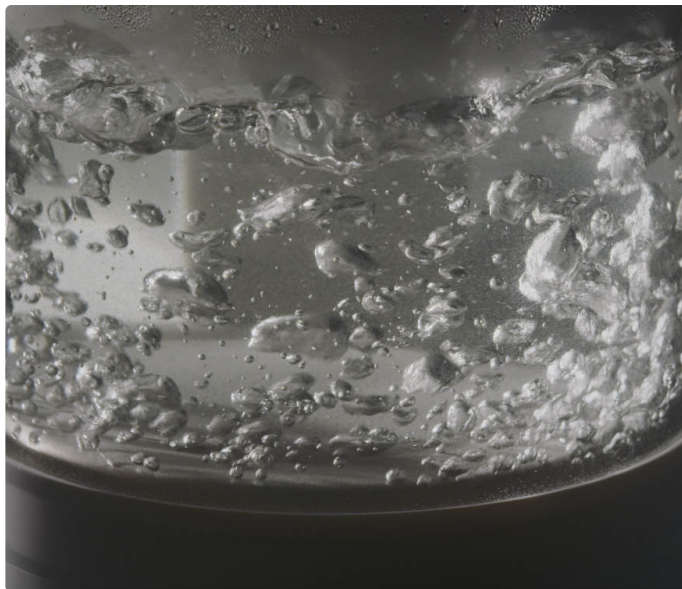
II. Sua temperatura não para de aumentar.

Sobre a asserção-razão apresentada acima, assinale a opção que apresenta o correto julgamento entre elas:

- A As afirmativas I e II são verdadeiras, e a afirmativa II é uma correta explicação para a afirmativa I.
- B As afirmativas I e II são verdadeiras, mas a afirmativa II não é uma correta explicação para a afirmativa I.
- C A afirmativa I é verdadeira, e a afirmativa II é falsa.
- D A Afirmativa I é falsa, mas a afirmativa II é verdadeira.
- E Ambas as afirmativas são falsas.

Parabéns! A alternativa C está correta.

O derretimento do bloco de gelo, se dá pela mudança do estado físico do sólido para o, líquido. Neste caso, como há mudança de estado de agregação, a temperatura não varia, estando este bloco em um regime de calor latente.



2 - Leis da termodinâmica

Ao final deste módulo, você será capaz de identificar as leis da termodinâmica.

As três leis da termodinâmica

Chegou a hora de vermos como o calor, sendo uma forma de energia, pode ser transformado em energia mecânica e, assim, realizar trabalho mecânico.

Termodinâmica é a parte da física que estuda a **transformação de calor** em **trabalho mecânico útil**. Ela se baseia em três leis principais (além da lei zero já discutida). A partir das três leis da termodinâmica, é possível, em determinado sistema, conhecer as limitações do uso de calor e de suas aplicações nas máquinas térmicas.

Elas serão apresentadas diferentemente da ordem cronológica de formulação. Vamos lá!



Primeira lei da termodinâmica

A primeira lei da termodinâmica teve origem em 1850 e foi formulada pelo físico e matemático alemão Rudolf Clausius. Ela é enunciada da seguinte forma. Confira!

Outra forma de entender essa lei, talvez mais intuitiva, é a seguinte:

Como o calor é energia térmica em trânsito, se fornecermos calor a um sistema, parte desse calor será usada para realizar trabalho mecânico, e parte para variar a energia interna do sistema. Basicamente, essa energia interna está relacionada à variação de temperatura do sistema.

Podemos quantificar a primeira lei da termodinâmica da seguinte forma:

$$\Delta U = Q - W$$

Sendo:

- ΔU = variação de energia interna
- Q = calor envolvido no processo
- W = trabalho envolvido no processo

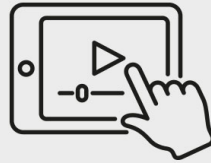
Essa lei nada mais é que uma **conservação de energia**.



Lei da conservação de energia: a primeira lei da termodinâmica

Acompanhe neste vídeo a aplicação simples da primeira lei da termodinâmica: o movimento de um êmbolo para cima.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Clique na palavra e selecione a lacuna correspondente para completar o texto

Se o sistema recebe calor, o calor é .

Se o sistema cede calor, o calor é .

Se a temperatura do sistema diminui, a energia interna dele .

Se a temperatura do sistema , a energia interna dele aumenta.

negativo positivo diminui aumenta equilibra

Tentar novamente

Verificar



Segunda lei da termodinâmica

Descoberta antes da primeira, a segunda lei da termodinâmica foi descrita, primeiramente, pelo engenheiro militar francês Sadi Carnot, em 1824.

Em seus estudos sobre as máquinas a vapor já existentes na época, Carnot queria encontrar o limite máximo de rendimento de uma dessas máquinas, visto que, naquele período, esse rendimento era muito baixo, e as construções, baseadas no motor a vapor (já aprimorado) de James Watt, eram feitas mais de forma empírica do que baseadas em teorias sobre calor e trabalho mecânico.

Carnot idealizou uma máquina (teórica) e conseguiu descobrir qual seria o máximo **rendimento** de uma máquina dadas as condições de contorno de sua operação.

Mais tarde, a segunda lei da termodinâmica foi enunciada tanto por Rudolph Clausius quanto por Lorde Kelvin, porém ambos se baseavam

nas ideias de Carnot.



Nicolas Léonard Sadi Carnot.

Rendimento

Razão entre o trabalho realizado pela máquina e a energia total fornecida para ela. Considerando o mesmo intervalo de tempo, a razão pode ser dada entre potências:

Rendimento = potência útil/potência fornecida

Os dois enunciados parecem definir pontos diferentes, mas são oriundos da mesma lei. Confira e compare!

Enunciado de Clausius

Nenhum sistema pode realizar qualquer processo cíclico que tenha como único efeito retirar calor (QF) de uma fonte fria (Temperatura TF) e fornecê-lo a uma fonte quente (Temperatura TQ, com $TQ > TF$).

×

Enunciado de Kelvin

Nenhum sistema pode realizar qualquer processo cíclico que tenha como único efeito retirar calor de uma fonte (QQ) e transformá-lo completamente em trabalho útil (W).

Percebemos diariamente essas impossibilidades indicadas tanto por Clausius quanto por Kelvin. É possível, por exemplo, que um ar-condicionado ou refrigerador operem sem estar ligados à tomada (ou a uma bateria)? Ou então, é possível que um carro transforme 100% da queima do combustível em trabalho mecânico no motor?

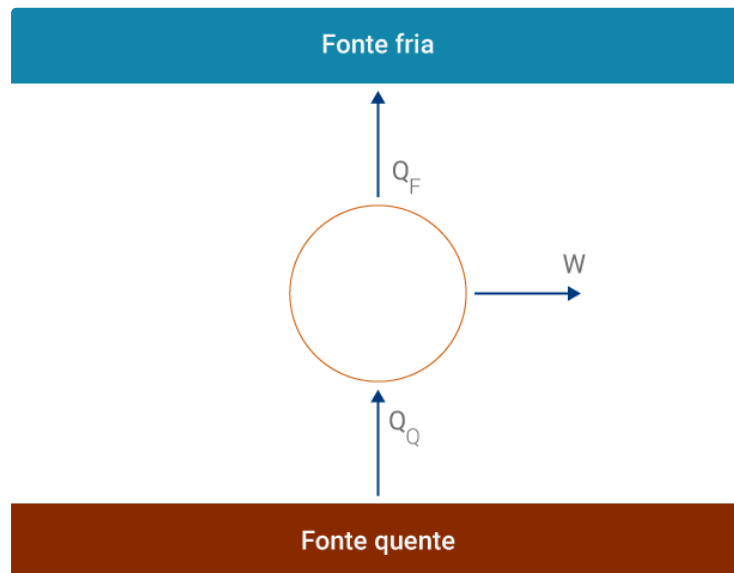
Essa lei é a base de funcionamento das máquinas térmicas, que trabalham em ciclo (voltando sempre ao ponto inicial) e podem ser basicamente de dois tipos: motor térmico ou refrigerador.

Motor térmico

Esta máquina funciona recebendo calor de um compartimento (Q_Q) chamado de fonte quente e fornecendo trabalho mecânico para fora (W). Parte do calor recebido é rejeitado para outro compartimento (Q_F) chamado de fonte fria. O segundo compartimento está a uma temperatura inferior ao compartimento que fornece o calor.

Você já deve ter visto documentários ou filmes épicos em que escravizados jogam carvão em uma caldeira para que o barco ou qualquer outra engrenagem funcione. O mecanismo envolvido é o de uma máquina térmica. O vapor que sai pela queima do carvão realiza trabalho.

O esquema de um motor térmico pode ser dado da seguinte forma:



Esquema de um motor térmico.

Como o sistema trabalha em ciclo, para cada ciclo, pela conservação de energia, temos:

$$W = Q_Q - Q_F$$

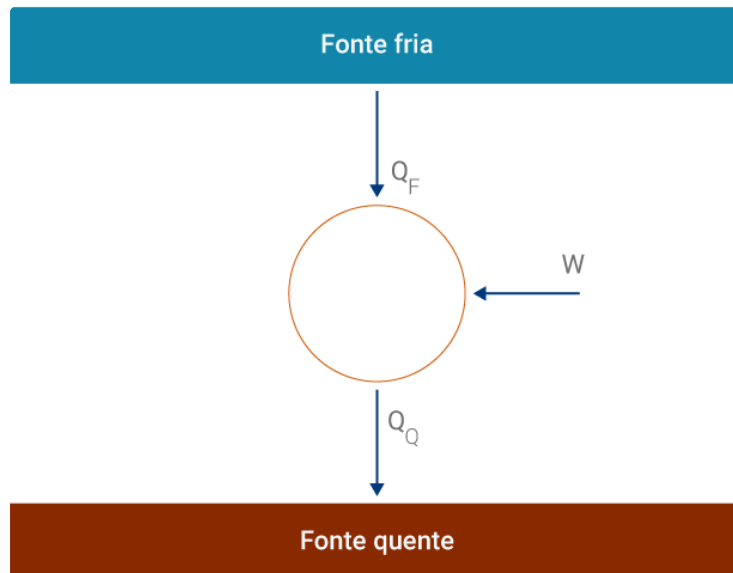
Assim, entendemos que toda energia que entra no sistema é igual à que sai.

Refrigerador

Essa máquina funciona retirando calor de um compartimento (Q_F) chamado de **fonte fria**, devido a um trabalho mecânico fornecido ao sistema (W).

Parte do calor retirado é rejeitado para outro compartimento (Q_Q), chamado de fonte quente. O segundo compartimento está a uma temperatura superior ao compartimento de onde se retira o calor.

Um exemplo clássico de refrigerador é nossa geladeira doméstica. É retirado calor da parte interna da geladeira (por meio de um trabalho realizado pelo motor da geladeira) e jogado para o ambiente da cozinha. O esquemático de um refrigerador pode ser dado pelo esquema apresentado na seguinte imagem:



Esquema de um refrigerador.

Como o sistema trabalha em ciclo, para cada ciclo, pela conservação de energia, temos:

$$W = Q_Q - Q_F$$

Toda energia que entra no sistema é igual à que sai.

Pela conservação de energia, a relação entre trabalho e os calores envolvidos em ambas as máquinas é a mesma. A diferença entre elas está no sinal de cada variável.

Se o calor entra no sistema (esfera central no esquemático), o sinal é positivo (calor recebido). Se o calor sai do sistema (esfera central no esquemático), o sinal é negativo (calor cedido).

O trabalho já é diferente. Se ele sai do sistema, é porque este realiza trabalho, ou seja, trabalho positivo (trabalho gerado). Se entra no sistema, é porque este precisa receber trabalho externo, ou seja, trabalho negativo (trabalho forçado).

Terceira lei da termodinâmica

É oriunda dos estudos de Lorde Kelvin (o mesmo que definiu a escala Kelvin) e foi desenvolvida somente no início do século XX pelo químico Walther Nernst.

A terceira lei da termodinâmica estabelece que:
“nenhum corpo poderá alcançar a temperatura de zero kelvin.”

A afirmação “nenhum corpo pode alcançar a temperatura de zero kelvin” significa que, como o calor é energia térmica em trânsito e está relacionado com o movimento das micropartículas de uma substância, a 0 kelvin (ou zero absoluto), os movimentos das micropartículas cessariam. Essa temperatura corresponde a $-273,15\text{ °C}$.

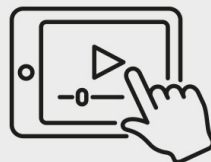
Você consegue imaginar uma temperatura tão baixa? Alguns cientistas já puderam presenciar os efeitos causados nos corpos em temperaturas bem próximas disso. A temperatura mais baixa já atingida artificialmente é de cerca de $-273,150000000001\text{ °C}$, em um laboratório da universidade de Kyoto, no Japão, em 2022.



Ciclo de um refrigerador simples

Confira neste vídeo um experimento que ilustra o funcionamento de uma central de potência simples a vapor d'água.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Pequenos vídeos, grandes explicações!

Termodinâmica e sua primeira lei

Fique por dentro do princípio da conservação de energia aplicado pela primeira lei da termodinâmica.

Termodinâmica e sua segunda lei

Fique por dentro da segunda lei da termodinâmica e entenda o que é a grandeza física denominada entropia.

Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

Apesar de a temperatura de um corpo não ter um limite superior, ela tem um limite inferior, ou seja, há uma temperatura mínima abaixo da qual nenhum corpo consegue alcançar. Essa afirmação está relacionada à

A lei zero da termodinâmica.

- B primeira lei da termodinâmica.
- C segunda lei da termodinâmica.
- D terceira lei da termodinâmica.
- E primeira e segunda lei da termodinâmica.

Parabéns! A alternativa D está correta.

A terceira lei da termodinâmica estabelece que nenhum corpo poderá alcançar a temperatura de 0 kelvin ou zero absoluto.

Questão 2

Em uma exposição de máquinas térmicas, existe uma miniatura de maria fumaça.



A maria fumaça é uma máquina térmica em forma de trem, que utiliza uma caldeira, onde se queima carvão mineral, para realizar trabalho, e assim movimentar o trem com sua carga.

Após a leitura, assinale a opção correta:

- A A maria fumaça retirar energia, na forma de calor, da caldeira, e transforma toda essa energia em trabalho.
- B A maria fumaça retira energia, na forma de calor, do carvão mineral, e envia essa energia para a fonte

fria.

- C O trabalho realizado pela maria fumaça é igual a diferença das energias da fonte quente com a fonte fria.
- D O trabalho realizado pela maria fumaça é igual a soma das energias da fonte quente com a fonte fria.
- E O calor perdido pela fonte fria da maria fumaça é igual à soma do trabalho realizado com a energia obtida pela fonte quente.

Parabéns! A alternativa C está correta.

Pela primeira lei da Termodinâmica, o trabalho realizado em ciclos por um sistema termodinâmico é igual à diferença das energias, da fonte quente, com a fonte fria, como mostra a equação:

$$\Delta W = Q_Q - Q_F$$



3 - Efeitos da dilatação e contração

Ao final deste módulo, você será capaz de reconhecer os efeitos da dilatação e contração em sólidos e líquidos.

Tipos de dilatação

Dilatação térmica

Você já reparou que entre um trilho e outro em uma linha férrea há certa separação? Ou que, na construção de determinadas pontes ou alguns viadutos, também há separação entre grandes blocos de concreto? Por que esses detalhes na construção são necessários?



Dilatação térmica

Confira neste vídeo alguns exemplos de construções e situações do dia a dia em que podemos observar a existência da dilatação térmica.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Dilatação de sólidos

Pense no exemplo do trilho em uma linha férrea. A separação entre trilhos existe, basicamente, por dois motivos. Entenda!



Trilho de trem antes da dilatação.

Primeiro

Porque é complicado você ter um molde único de quilômetros de comprimento, concorda? Então, os trilhos são compostos por diversos subtrilhos. Mas por que não são encostados um no outro? Isso é para compensar a dilatação natural!



Trilho de trem distorcido após dilatação em excesso.

Segundo

Eles não são colocados juntos porque, com o aumento da temperatura em dias muito quentes, o trilho se dilata, o que pode causar sua quebra ou entortamento.

Agora, vamos pensar qual é a relação entre **dilatação** e **variação de temperatura**! A relação entre o efeito e a causa depende do tamanho inicial do corpo (L_0) e do material que o constitui, criando uma relação diretamente proporcional entre dilatação, ou seja, variação no tamanho do corpo (ΔL) e a variação de temperatura (ΔT).

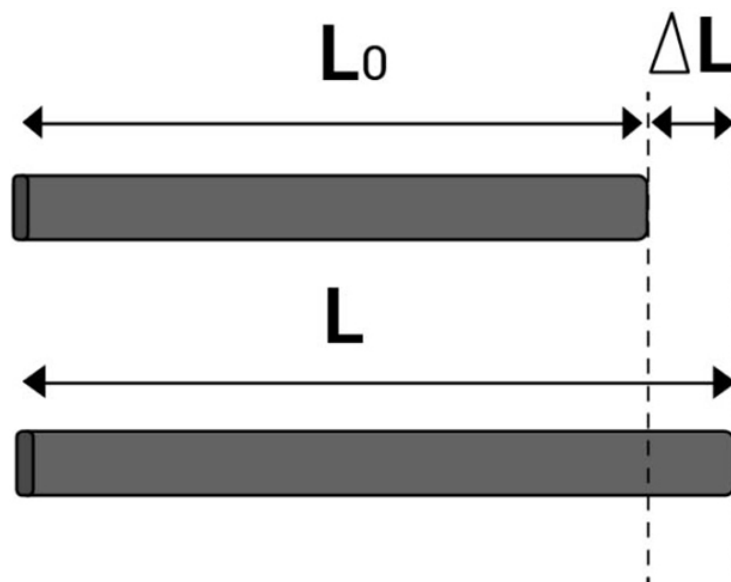
Fórmulas matemáticas

Veja fórmula da variação do comprimento dilatado.

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

A letra α está relacionada com o material que compõe o corpo. Essa propriedade do material é chamada de coeficiente de dilatação linear. Quanto maior esse coeficiente, maior será a dilatação.

Perceba a seguir que o novo comprimento L será dado pela soma do comprimento L_0 com a variação no comprimento, devido à dilatação ΔL .



Variação do comprimento de um corpo, após a dilatação térmica.

Você já sabe que a letra Δ , em física, significa (em 99% dos casos) variação de algo. Dessa forma, se a temperatura diminuir em vez de aumentar, o fator ΔT será negativo. Então, o corpo irá contrair em vez de dilatar.

Atenção!

A relação encontrada entre dilatação (ou contração) e variação de temperatura também é válida para as dimensões de área e dimensões de volume. Só há um detalhe: no caso de dilatação de áreas, o fator α é multiplicado por 2 (por serem duas dimensões); no caso de dilatação de volumes, o fator α é multiplicado por 3 (por serem três dimensões).

Veja na tabela alguns exemplos de coeficientes de dilatação linear de sólidos.

Material	Coeficiente de dilatação linear α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Aço	$1,2 \times 10^{-5}$
Alumínio	$2,4 \times 10^{-5}$
Chumbo	$2,7 \times 10^{-5}$
Cobre	$1,7 \times 10^{-5}$
Ferro	$1,2 \times 10^{-5}$
Latão	$2,0 \times 10^{-5}$
Madeira	$0,5 \times 10^{-5}$

Material	Coefficiente de dilatação linear α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Níquel	$1,3 \times 10^{-5}$
Ouro	$1,4 \times 10^{-5}$
Prata	$1,9 \times 10^{-5}$

Tabela: Coeficientes de dilatação linear dos principais sólidos.
Bruno Suarez Pompeo

Agora, tendo em mente as informações da tabela, tente responder as perguntas a seguir.

Qual das duas chapas aumentou mais? E quanto aumentou em relação à outra?

Pesquisando em tabelas já conhecidas, encontramos que esses coeficientes valem $1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ e $2,4 \times 10^{-5} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$, respectivamente. Logo, percebemos que o alumínio, submetido à mesma variação de temperatura e tendo a mesma área inicial do aço, irá se dilatar 2 vezes mais!

Para calcular de quanto será a dilatação, basta usar a equação de dilatação $\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$, porém multiplicando por dois, porque se trata de área!

Agora, o que acontece quando o sólido é oco ou vazado? Você já teve alguma experiência ruim com anéis em dias frios? Vamos descobrir, a seguir, o que ocorre nesses casos.

Sólidos ocos ou vazados

Em objetos ocos ou vazados, a regra para dilatação ou contração é simples: a dilatação (ou contração) ocorrerá como se a cavidade fosse feita do **mesmo material** que compõe o corpo.



Pessoa tentando retirar anel do dedo.

Em dias frios, os anéis tendem a prender mais no dedo devido a sua contração. Já em dias mais quentes, eles tendem a ficar mais largos devido a sua dilatação. A parte vazada se dilata ou contrai, como se fosse feita do mesmo material do anel. Assim, da próxima vez que o anel não sair, tente aquecê-lo. No entanto, cuidado para não se queimar! Como veremos mais à frente, o metal é um bom condutor de calor.

Até o momento, estudamos a dilatação em corpos sólidos. Mas como esse processo ocorre nos líquidos? Vejamos!



Dilatação de líquidos

Como já sabemos, por fazerem parte do grande universo dos fluidos, líquidos, em geral, não possuem forma específica, apesar de terem volume bem definido. Dois litros de refrigerante, por exemplo, são dois litros de refrigerante, seja em uma garrafa pet, seja em um vaso de planta. Os líquidos seguem o formato do recipiente que os contém, porém preserva os seus volumes.

Para medirmos qualquer efeito em líquidos, só conseguiremos fazê-lo com o líquido dentro de algum recipiente. Se você jogar o líquido em uma superfície supostamente horizontal e quiser medir qualquer efeito, a tarefa será difícil, pois a forma que ele terá não será uniforme.

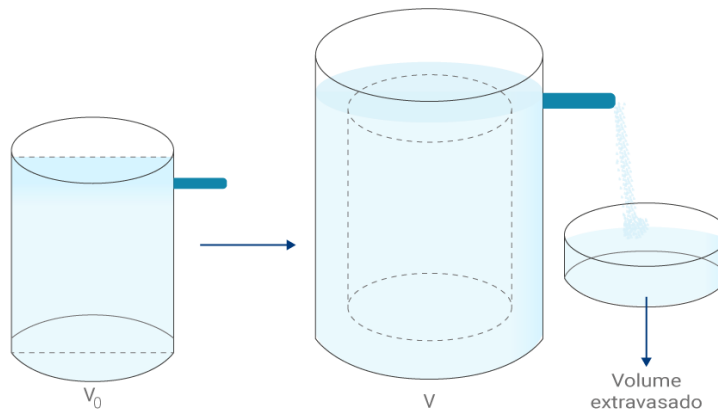
Exemplo

Jogue um pouco de água no chão e verifique a forma criada. Ela seguirá imperfeições no solo. Logo, há grandes chances de o formato criado ser disforme.

Na maior parte dos casos, os corpos dilatam com aumento de temperatura. Como precisamos de um recipiente para medir qualquer coisa em líquidos, quando aquecemos um recipiente com líquido, há dilatação tanto do líquido quanto do recipiente – este será um sólido oco, provavelmente. Assim, o que vemos não é a dilatação real do líquido, mas sim uma **dilatação aparente**.

Dilatação aparente

Nada mais é que a dilatação do líquido percebida ou, em outras palavras, o quanto o líquido dilatou em relação à dilatação do recipiente que o contém. Observe!



Esquema gráfico para dilatação aparente de um líquido.

Como vemos, o líquido extravasado é dado pela diferença entre a variação de volume real do líquido e a variação de volume do recipiente. Essa diferença é a dilatação aparente.

O equipamento mais comum que usa o efeito da dilatação térmica em líquidos é o termômetro de mercúrio. Para medir variações de temperatura, coloca-se mercúrio em um recipiente bem fino de vidro (de coeficiente de dilatação bem inferior ao do mercúrio). Devido à dilatação do mercúrio, indica-se a temperatura em que se encontra determinado corpo.



Mão segurando um termômetro.

Agora que você já conhece os efeitos da dilatação, da próxima vez em que colocar algum líquido no fogo, evite fazê-lo próximo da boca do recipiente, pois os coeficientes de dilatação dos líquidos são, em geral, superiores aos dos sólidos. Assim, a chance de derramar é bem alta.

Atenção!

A dilatação nos líquidos ocorre da mesma forma que nos sólidos. No entanto, o coeficiente de dilatação fornecido nos líquidos é o coeficiente de dilatação volumétrico (dado pela letra γ), visto que os fluidos são medidos sempre em unidades de volume.

A tabela a seguir apresenta alguns exemplos de coeficientes de dilatação de líquidos. Confira!

Substância	Coeficiente de dilatação volumétrica ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Água (a 300 K)	$2,1 \times 10^{-4}$
Benzeno	$10,6 \times 10^{-4}$
Etanol	11×10^{-4}
Glicerina	$5,3 \times 10^{-4}$
Mercúrio	$1,8 \times 10^{-4}$

Tabela: coeficientes de dilatação de líquidos.
Bruno Suarez Pompeo

Dilatação da água - caso irregular

Diferente da maioria dos líquidos, a água apresenta um comportamento diferente quanto à sua dilatação entre as temperaturas 0°C e 4°C .

Experimentalmente, percebemos que o aumento da temperatura, somente nesse intervalo, faz com que o volume da água diminua em vez de aumentar.

Mas por que isso acontece? Existe uma explicação química relacionada às formas da ligação das moléculas da água. Mas a explicação mais simples é que a natureza é sábia!

Esse caso irregular permite que, em regiões muito geladas, ainda seja possível ter vida marítima, pois como o volume da água diminui com a temperatura (lembre-se: somente entre 0°C e 4°C), sua densidade aumenta. Assim, o líquido fica “mais pesado”.

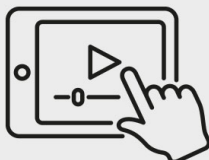
Estando mais pesado, águas com temperaturas mais próximas de 4°C ficam no fundo, e as mais frias, próximas a 0°C , ficam na superfície, a qual congela, isolando o meio externo do fundo e, assim, não congelando todo o lago.



Dilatação térmica

Acompanhe neste vídeo um experimento que mostra a dilatação linear de tubos metálicos quando se aumenta a temperatura internamente por um fluxo de vapor de água.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Pequenos vídeos, grandes explicações!

Dilatação dos sólidos

Descubra os segredos da dilatação dos sólidos: linear, em área e volumétrica. Vamos lá!

Comportamento incomum da água

Explore o comportamento único da água durante o seu resfriamento. Vamos lá!

Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

Suponha que você esteja com o seguinte problema: um anel de chumbo está travado em um eixo cilíndrico de ferro. Você sabe que o coeficiente de dilatação do chumbo é superior ao do ferro.

Para facilitar a retirada do anel, a melhor solução é

- A aquecer o conjunto.
- B aquecer somente o ferro.
- C resfriar somente o chumbo.
- D resfriar o conjunto.
- E aquecer o ferro e resfriar o chumbo.

Parabéns! A alternativa A está correta.

Como o anel dilata mais que o eixo para a mesma variação de temperatura, a melhor solução é aquecer o conjunto. Apesar de os dois materiais dilatarem, o diâmetro do anel dilatará mais que o diâmetro do eixo, pois o coeficiente de dilatação do chumbo é superior ao do ferro.

Mas, e se os materiais que compõem o anel e o eixo cilíndrico estivessem invertidos? Você mudaria sua resposta?

Nesse caso, a melhor solução seria resfriá-los. Como o coeficiente de dilatação do chumbo é maior que do ferro, o chumbo também contrai mais que o ferro quando submetido à mesma variação de temperatura negativa.

Questão 2

Considere uma chapa metálica quadrática e homogênea com um orifício circular em seu centro. Ao aquecermos a chapa, podemos afirmar que

- A o raio do orifício aumentará na mesma proporção que a área da chapa.
- B o raio do orifício diminuirá na mesma proporção que a área da chapa.
- C O raio do orifício aumentará na mesma proporção que o lado da chapa.
- D o raio do orifício diminuirá na mesma proporção que o lado da chapa.
- E o raio do orifício aumentará na mesma proporção que sua área aumentará.

Parabéns! A alternativa C está correta.

Quando aquecemos objetos vazados, a cavidade se dilata como se fosse feita do mesmo material que compõe o corpo. Dessa forma, haverá aumento no raio do orifício na mesma proporção que o lado da chapa.



4 - Propagação de calor

Ao final deste módulo, você será capaz de distinguir as formas de propagação de calor.

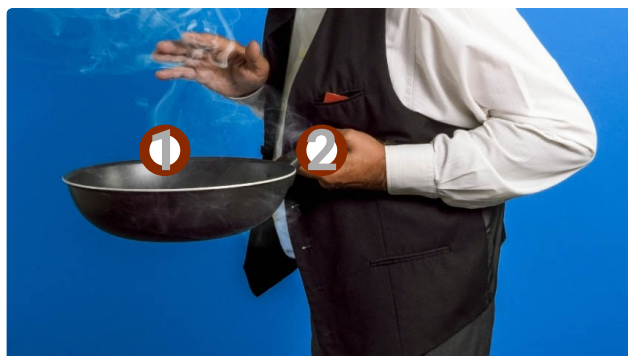
Formas de propagação de calor

Aqui vamos entender como o **fluxo de calor** aplicado (ou retirado) se propaga nos corpos. Por exemplo, se aquecermos continuamente uma das extremidades de um trilho de trem, em algum momento todo o trilho estará com sua temperatura aumentada e, assim, ocorrerá a dilatação.

Calor nada mais é que energia térmica em trânsito, ou seja, é algo dinâmico.

Vamos pensar, como o calor se propaga em um corpo (sólido ou fluido)?
Antes de respondermos, veja a imagem!

 Toque nos pontos em destaque.



Parte metálica

Se você coloca a mão na parte metálica de uma panela recém-tirada do fogo, provavelmente queimará sua mão.

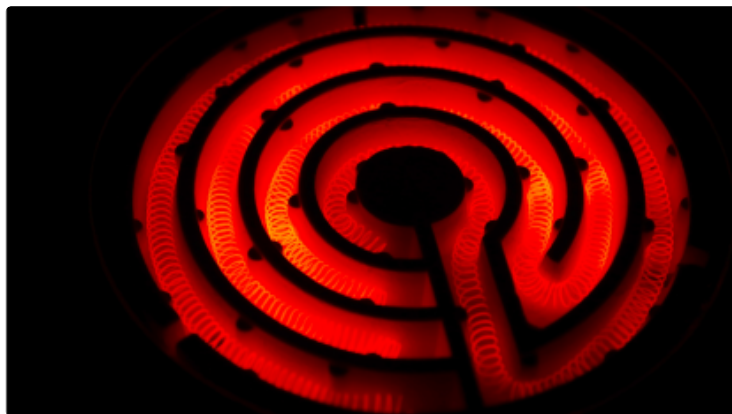
Cabo da panela

Se colocar a mão no cabo da panela – feito, geralmente, de polímero, tal como baquelite, madeira ou plástico –, não se queimará.

Pessoa segurando frigideira quente.

O motivo para que o cabo e o corpo da panela/frigideira tenham temperaturas diferentes está relacionado com a maneira com que o calor se propaga.

Independentemente da forma de transferência de calor a que estivermos nos referindo, ela sempre ocorrerá, de forma espontânea, do corpo mais quente para outro mais frio. Existem três formas de propagação de calor, que podem acontecer em conjunto ou isoladamente. Cada uma delas tem suas particularidades e podem ser verificadas no dia a dia. As três formas são as seguintes, confira!



Condução



Convecção



Radiação

Vamos agora aprender a diferenciar as formas de propagação de calor.



Condução

Em um dia frio, quando você segura com a mão direita uma maçaneta de metal da porta e empurra a porta de madeira com a mão esquerda, em qual das duas você sente estar mais gelado? Certamente você respondeu que é a maçaneta. Mas por quê?

De acordo com o conceito de calor, nosso sentido tátil pode nos pregar algumas peças. Teoricamente, não haveria motivo para sentir a maçaneta mais fria que a madeira, visto que, como estão em contato (desde que a maçaneta foi presa à porta), suas temperaturas **são iguais**.

No entanto, se perguntarmos a qualquer pessoa, ela dirá, com base na sensação da pele, que a temperatura da maçaneta é mais baixa, embora, na realidade, não seja.



Por que a maçaneta de metal e a porta de madeira, mesmo com a mesma temperatura, proporcionam

sensações táteis diferentes?

Resposta

A razão para essa confusão sensorial é que o metal conduz calor mais eficientemente que a madeira. Em outras palavras, se a porta e a maçaneta estão a uma temperatura mais baixa que a nossa, nosso corpo transfere calor para a maçaneta mais rapidamente que para a porta, criando a sensação de que a maçaneta está mais fria.

O mecanismo de transferência de calor é chamado de condução. Ele ocorre devido a uma diferença de temperatura entre dois pontos em um corpo, permitindo que o calor se transfira através dele. O calor é transferido de molécula para molécula.

Para entender melhor esse conceito, faça e compare os testes a seguir.



Prego

Pegue um prego grande e coloque uma das extremidades em um copo com gelo. Segure a outra extremidade por um tempo. Quanto tempo você demora para sentir a diferença de temperatura em seus dedos?



Tubo de plástico

Pegue um tubo de plástico (pode ser um tubo externo de caneta) de tamanho semelhante ao do prego. Segure uma das extremidades e coloque a outra em um copo com gelo. Quanto tempo você demora para sentir a diferença de temperatura em seus dedos?

O que acontece é uma **condução de calor** entre sua mão e o gelo. Cria-se um fluxo de energia no material que liga os dois corpos. No primeiro caso, o fluxo passa pelo prego. Já no segundo, passa pelo plástico.

Esse fluxo de calor dependerá do tipo de material que compõe o corpo, da seção reta e do comprimento. A relação entre essas grandezas é conhecida como Lei de Fourier.

Lei de Fourier

Em 1807, o cientista Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) apresentou suas descobertas acerca da propagação de calor em um trabalho intitulado *Mémoire sur la propagation de la chaleur* (Dissertação sobre a propagação de calor). No entanto, a publicação de seu trabalho só ocorreu em 1822, no qual Fourier descrevia um modelo físico para explicar o mecanismo de condução do calor.

De forma empírica, ele descobriu que a taxa de calor fornecida entre dois pontos em um corpo, devido à diferença de temperaturas entre eles, é dada por:

$$\dot{Q} = \frac{kA(T_1 - T_2)}{L}$$

Em que **k** é chamado de condutividade térmica ou coeficiente de condutibilidade térmica, e depende do material e de seu estado de agregação.

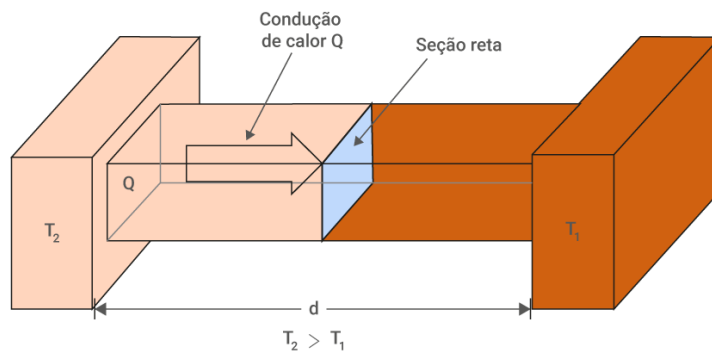
Quanto maior o valor dessa constante **k**, maior será o calor transferido entre pontos de diferentes temperaturas no mesmo corpo, no mesmo intervalo de tempo.

Atenção!

A Lei de Fourier é válida independentemente da geometria do corpo. No entanto, a equação apresentada só é válida para corpos de seção reta única e transferência de calor através de seu comprimento.

As temperaturas extremas devem, necessariamente, permanecer constantes – o que chamamos de regime estacionário.

Em geral, materiais que são condutores elétricos tendem a ser bons condutores de calor, ou seja, possuem altos valores de condutividade térmica.



Esquema representando a condução de Calor Q .

Convecção

A maior parte dos fluidos é má condutora de calor, ou seja, a transferência de calor por condução é ineficiente, apesar de ocorrer. Enquanto a condutividade térmica de um metal, como o cobre, é de 385 W/mK, a da água é de 0,60 W/mK.

No entanto, como fluidos escoam, há um processo de transferência de calor mais eficiente nesses materiais. Esse processo é conhecido como convecção e não acontece nos sólidos. O processo de convecção ocorre devido a uma maior liberdade de movimento das moléculas (comparado com sólidos) que compõem o fluido.

Em virtude das diferenças de temperaturas dentro do fluido, haverá distinção de densidades (lembre-se da dilatação de calor e do conceito de densidade). Consequentemente, partes mais densas do fluido descerão, e partes menos densas subirão. Devido a esse efeito, uma corrente de fluido é gerada: a **corrente de convecção**.

Podemos ver esse efeito no dia a dia. Quando um alimento está sendo cozido em água, como ocorre o processo de aquecimento dela?

A água é colocada em uma panela, cujo fundo está em contato com o fogo, ou seja, a uma temperatura de centenas de graus Celsius.

A água está, inicialmente, a uma temperatura bem inferior à do fogo. Logo, há transferência de calor por condução entre o fogo e a água, em que o meio de condução é o fundo da panela.

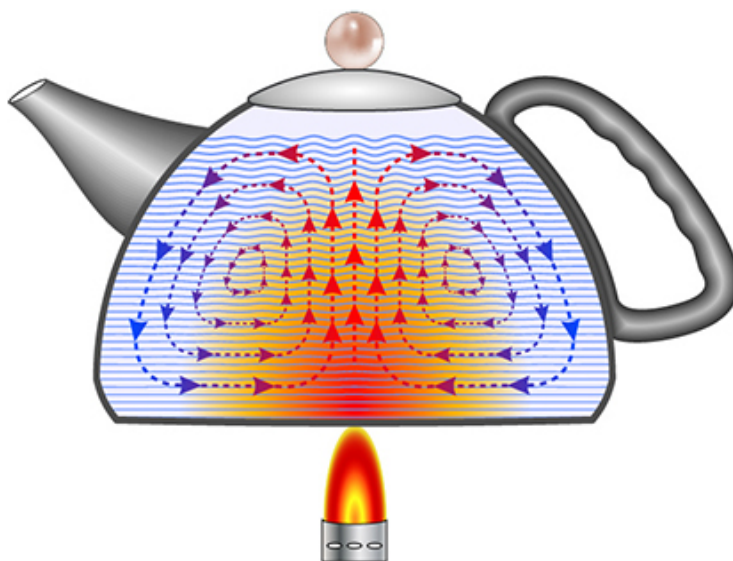


Panela com água fervente.

Se o processo fosse única e exclusivamente esse, só conseguiríamos aquecer a água que está no fundo da panela inicialmente, e teríamos de esperar bastante tempo para que a própria água conduzisse calor (por meio da condução) para as camadas mais altas dentro da panela. Afinal, a água, assim como a maioria dos fluidos, é péssima condutora de calor.

Como a água no fundo fica mais quente do que a água na superfície, ela se torna menos densa – o aumento da temperatura causa um aumento no volume (para água acima de 4°C), resultando em uma diminuição da densidade – e sobe. A água na superfície, então, desce, entrando em contato com o fundo quente da panela.

Quando a água que está no fundo atinge uma temperatura superior a que está na superfície, o processo se repete e, assim, sucessivamente. Cria-se, então, uma corrente.



Transferência de calor convectiva.

Você pode verificar isso colocando algum tipo de pó bem leve na água. Observe que ele ficará circulando dentro da panela.



A convecção acontece só em líquidos?

Resposta

Não! Ela acontece em qualquer fluido! Logo, também em gases.

Corrente de convecção

Um exemplo claro dessa convecção em gases é a brisa na praia. Quando você chega à praia pela manhã em um dia muito quente, o que estará mais quente: a areia ou a água do mar? Muito provavelmente a areia.

Isso acontece porque o calor específico da areia é menor que o da água. Basta lembrar do conceito de calor específico, que já vimos aqui quando estudamos calor. Assim, a água demora mais para aumentar sua temperatura a uma mesma quantidade de calor fornecida pelo Sol em comparação com a areia. Mais adiante, veremos a forma de propagação de calor proveniente do Sol.

O ar próximo à areia está mais quente que o próximo ao mar. Por isso, ele sobe e se desloca em direção ao mar. O ar frio que está em cima do mar desce e se desloca para o “buraco” deixado pelo ar quente da areia, passando a ficar em contato com ela. Assim, cria-se a corrente de convecção.

Da próxima vez que você for à praia pela manhã, note que, estando na areia, você sentirá a brisa vinda do mar. E se você for nesse mesmo dia à noite? Haverá brisa também. Mas ela será no mesmo sentido? Pense um pouco! Confira a resposta com a ajuda de algumas imagens!



Corrente de convecção durante o dia.

Dia

Da mesma forma que o mar demora mais que a areia para aquecer, ele também demora mais para resfriar.



Corrente de convecção durante a noite.

Noite

Nesse período a situação se inverte e a brisa virá da terra para o mar.

Você consegue deixar sua mão ao lado de uma vela acesa, mas sem tocá-la, por muito tempo? E em cima dela? Verifique e tente explicar o resultado obtido. Agora que você conhece o processo de convecção, tente responder a questão a seguir.

Se você tiver de instalar um ar-condicionado em seu quarto, em que posição ele será mais eficiente?

 Toque em um dos botões para responder.

Na parte mais alta da parede

Na parte mais baixa da parede

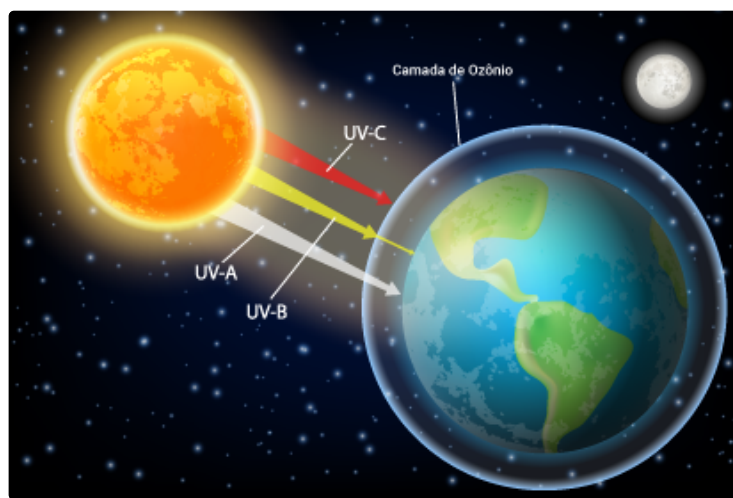
Já parou pra pensar por que os cômodos ficam com o ambiente quente? Como foi transferido o calor para aquecer o quarto? Esse calor é proveniente do Sol.

Você sabe explicar como o Sol, que está a milhões de quilômetros de distância da Terra, consegue transferir calor para nós? Isso é o que veremos agora!

Radiação térmica

O processo pelo qual o Sol transfere calor para a Terra é o mesmo que ocorre quando você e outras pessoas aumentam a temperatura de uma sala fechada simplesmente pela presença.

O processo conhecido como radiação térmica ou irradiação não envolve matéria, mas é feito por meio da radiação de ondas eletromagnéticas. A condução ocorre pela transferência de energia entre moléculas, e a convecção, pela troca de posições das moléculas de um fluido.



Processo de transferência de calor do Sol para Terra.

Todo corpo com uma temperatura acima do 0 (zero) kelvin, (temperatura limite, como vimos na terceira lei da termodinâmica) emite radiação. Essa radiação é responsável por transferir calor, caso haja diferença de temperatura entre dois corpos, mesmo não havendo contato entre eles ou meio material para o calor se propagar.

A radiação térmica é inerente aos corpos e se propaga no vácuo.

Podemos sentir nossa pele aquecer, estando relativamente perto de um corpo bem aquecido, como um ferro de passar roupa ou um forno, não é mesmo? Apesar de, nesses casos, haver condução de calor no ar e, também, convecção no ar, o processo de radiação térmica é considerável!



Gravação com câmera de termovisão infravermelha.



Imagem térmica mostrando carros estacionados no estacionamento.

Essas imagens são capturadas por câmeras térmicas, cujos sensores detectam ondas eletromagnéticas em uma faixa de frequência invisível a olho nu. E isso é fantástico!

Imagine se pudéssemos ver, claramente, em faixas de frequências dentro das faixas da radiação emitida por corpos existentes no cotidiano. Você não precisaria de luz branca emitida para ver as coisas. Sempre existiria “luz” para seus olhos.

As ondas emitidas pelos corpos, devido às suas temperaturas não muito altas, estão no infravermelho. Após um processamento, essas ondas coletadas pelos sensores são convertidas em cores visíveis, geralmente vermelho para os pontos mais quentes e verde ou azul para os mais frios.

Geralmente, não conseguimos ver essa radiação emitida. Por exemplo, não podemos ver o corpo da pessoa ao nosso lado ou um livro com as luzes artificiais totalmente apagadas no período da noite.

No entanto, conseguimos ver o carvão aceso em uma churrasqueira, assim como o fogo oriundo de um fogão doméstico, mesmo com todas as luzes apagadas. Isso acontece porque as temperaturas desses últimos são tão altas que as radiações emitidas por eles conseguem sensibilizar os sensores ópticos de nossos olhos.

Atenção!

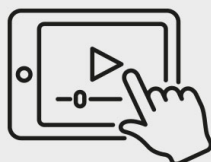
A emissão de calor pelos corpos, por meio radiação, ocorre de maneira natural e espontânea, independentemente da presença de outros corpos.



Vaso de Dewar

Neste vídeo, vamos analisar o vaso de Dewar, mais conhecido como garrafa térmica, um objeto cotidiano que utiliza mecanismos para evitar a perda de calor através dos três processos de transferência de calor. Assista!

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Pequenos vídeos, grandes explicações!

Formas de propagação do calor

Fique por dentro das três formas de propagação de calor e confira alguns exemplos simples.

Corpo negro

Descubra o que é corpo negro a partir da perspectiva da física.
Vamos lá!

Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

(ENEM - 2006) Uma garrafa de vidro e uma lata de alumínio, cada uma contendo 330 mL de refrigerante, são mantidas em um refrigerador pelo mesmo período de tempo. Ao retirá-las do refrigerador com as mãos desprotegidas, temos a sensação de que a lata está mais fria que a garrafa.

Assim, é correto afirmar que

- A a lata está realmente mais fria, pois a capacidade calorífica da garrafa é maior que a da lata.

- B a lata está de fato menos fria que a garrafa, pois o vidro possui condutividade menor que o alumínio.
- a garrafa e a lata estão na mesma temperatura,
- C possuem a mesma condutividade térmica, e a sensação deve-se à diferença nos calores específicos.
- A garrafa e a lata estão na mesma temperatura, mas a sensação diferente é devido à maior
- D condutividade térmica do alumínio em comparação ao vidro.
- A garrafa e a lata estão na mesma temperatura, e a
- E sensação é devida ao fato de a condutividade térmica do vidro ser maior que a do alumínio.

Parabéns! A alternativa D está correta.

Vamos analisar as afirmativas a seguir:

Tanto a garrafa de vidro quanto a lata de alumínio foram mantidas por um longo período de tempo em um refrigerador. Por isso, esperamos que suas temperaturas sejam iguais ao final do processo. Dessa forma, as alternativas (A) e (B) são descartadas.

A alternativa (C) está incorreta, pois, apesar de a garrafa e a lata estarem na mesma temperatura no final do processo, suas condutividades térmicas são diferentes.

Como o alumínio possui condutividade térmica maior que a do vidro, a sensação de a lata estar mais fria é percebida. Isso acontece porque a quantidade de calor que as mãos desprotegidas fornecem para a lata será maior do que a que as mãos desprotegidas fornecem para o vidro no mesmo intervalo de tempo.

Reveja a Lei de Fourier:

$$\phi = \frac{kA\Delta T}{L}$$

Se o valor de k é maior, considerando todos os outros fatores iguais, então o fluxo, que é calor por intervalo de tempo, será maior.

Questão 2

Observe as quatro afirmações acerca dos processos de transferência de calor:

I. A radiação térmica é um processo de transferência que precisa de um meio material para propagar calor.

II. Os esquimós fazem suas casas (iglus) de gelo, pois essa substância tem baixa condutividade térmica, ou seja, o gelo é um isolante térmico.

III. A condução entre dois corpos não ocorre se eles estiverem na mesma temperatura.

IV. A convecção é um processo que pode ocorrer entre substâncias nos estados sólido, líquido e gasoso.

Podemos afirmar que estão corretas

A I e II.

B I, II e III.

C II e III.

D I, III e IV.

E I e IV.

Parabéns! A alternativa C está correta.

Vamos analisar as afirmativas:

I. Falsa

O processo de radiação térmica não precisa de meio material para propagar calor. É o único processo possível de ocorrer no vácuo.

II. Verdadeira

O gelo é considerado um isolante térmico, sendo sua condutividade térmica de aproximadamente 1,6 W/mK. Comparando, o alumínio, que é um ótimo condutor térmico, possui condutividade térmica de aproximadamente 200W/mK.

III. Verdadeira

Pela Lei de Fourier, somente haverá fluxo de calor se $\Delta T \neq 0$

IV. Falsa

A convecção só ocorre em fluidos. Assim, não é possível ocorrer convecção entre corpos sólidos.

Considerações finais

Neste conteúdo, apresentamos o conceito de calor, além da chamada lei zero, que trata do equilíbrio térmico entre os corpos. Em seguida, foram abordadas as três leis da termodinâmica. Com base nessas leis, é possível relacionar calor com trabalho mecânico. Essa relação é utilizada em grande parte das engenharias.

Por fim, estudamos o efeito físico de dilatação e contração de corpos sólidos e líquidos, devido à variação de temperatura, e os três mecanismos de propagação de calor: condução, convecção e radiação térmica.



Podcast

Ouçá, a seguir, um resumo de todo o conteúdo apresentado, ressaltando as leis da termodinâmica, suas aplicações, os efeitos da dilatação e da contração e a propagação do calor.

Para ouvir o *áudio*, acesse a versão online deste conteúdo.



Explore +

Pesquise e assista ao documentário:

- **As consequências da Revolução Industrial.** Direção: Jonathan Hassid; Simon Backer. Inglaterra: BBC, 2003.

- Nos dois primeiros episódios – O mundo material e Criando maravilhas –, são mostradas as mudanças tecnológicas e científicas durante o período da Revolução Industrial, quando se intensificaram os estudos do calor.

Pesquise e leia os seguintes artigos:

- **Estufas agrícolas: quais as vantagens da sua utilização?**, publicado em out. 2019 na Revista Agropecuária.

- **Carnot e a Segunda Lei da Termodinâmica**, de Júlio César Passos, São Paulo: USP, 2002.

- **Os experimentos de Joule e a primeira lei da termodinâmica**, de Júlio Cesar Passos, publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física em 2009.

Referências

BORGNACKE, C.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da Termodinâmica**. São Paulo: Blucher, 2018.

FERREIRA, A. B. H. **Novo dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. Curitiba: Positivo, 2004.

HALLIDAY, D.; WALKER, J.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física 1**. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. v. 2.

HARARI, Y. N. **Sapiens: uma breve história da humanidade**. São Paulo: L&PM, 2015.

MARTINS, Alejandra (comp.). **Os cientistas que alcançaram a temperatura mais baixa já registrada no universo**. 2022. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/curiosidades-63270027>. Acesso em: 04 jul. 2022.

MCPHEE, I. **Physics – everyday science at the speed of light**. Rio de Janeiro: Metro Books, 2010.

PIFER, A.; AURANI, K. M. **A teoria analítica do calor de Joseph Fourier: uma análise das bases conceituais e epistemológicas**. Revista brasileira de ensino de Física. v. 37. n. 1. 2015.

ROONEY, A. **A história da Física: da filosofia ao enigma da matéria negra**. 1. ed. São Paulo: M. Books, 2013.

Material para download

Clique no botão abaixo para fazer o download do conteúdo completo em formato PDF.

Download material

O que você achou do conteúdo?



 Relatar problema